DOI:10.11931/guihaia.gxzw201904016

荞麦远缘杂交种质(*Fagopyrum tatari-cymosum*)的再生特性与品质分析

梁成刚[1,2]，汪燕[1,2*]，喻武鹃[1]，廖凯[1]，陈敏[1]，
关志秀[1]，付全兰[1]，孟子烨[1,2]，陈庆富[1,2]
（1.贵州师范大学植物遗传育种研究所，贵阳 550001；2.贵州省荞麦工程技术研究中心，贵阳 550001）

摘要：试验选用荞麦远缘杂交育成品系贵多苦 75 为材料，进行 40 cm（I）、20 cm（II）和 10 cm（III）留桩高度处理，对再生植株主要农艺性状、产量性状和品质性状进行分析。结果表明，留桩高度 40 cm 内，留桩高度对再生植株株高、茎叶重、单株粒数、单株产量和产量影响显著；处理 I 植株的株高、茎叶重、单株粒数、单株产量和产量均显著或极显著高于处理 II 和处理 III，说明留 40cm 高桩有利于再生植株营养器官的生长与产量的形成。贵多苦 75 种子清蛋白含量＞谷蛋白含量＞醇溶蛋白含量＞球蛋白含量，留桩高度 40cm 内，留桩高度对种子总蛋白和谷蛋白影响显著，但对清蛋白、醇溶蛋白和球蛋白含量影响不显著。贵多苦 75 再生植株种子总黄酮含量在 3.17%~3.33%间，受留桩高度的影响不显著。留桩高度为 40 cm 时，贵多苦 75 再生植株产量每公顷达 1.5 t、清蛋白含量达到 4.06%、谷蛋白含量达到 3.26%、醇溶蛋白含量达到 1.27%、球蛋白含量达到 0.39%、总黄酮含量达到 3.33%，具有较高营养价值和药用价值。

关键词：荞麦，远缘杂交，再生特性，产量性状，品质性状
中图分类号：S517；S326　　**文献标识码：**A

Analysis of ratooning character and quality of distant hybridization buckwheat (*Fagopyrum tatari-cymosum*)

LIANG Chenggang[1,2], WANG yan[1,2*], YU Wujuan[1], LIAO Kai[1], CHEN Min[1],
GUAN Zhixiu[1], FU Quanlan[1], MENG Ziye[1,2], CHEN Qingfu[1,2]
（1. *Institution of Plant Genetic and Breeding, Guizhou Normal University,* Guiyang 550001, China; 2. *Buckwheat engineering technology research center of Guizhou,* Guiyang 550001, China）

基金项目：国家自然科学基金（31660366, 31760419）；贵州省科技厅自然科学基金（黔科合支撑[2019]2298 号、黔科合平台人才[2017]5726、黔科合 LH[2017]7359、黔科合 LH[2016]7205、黔科合基础[2016]1107）；贵州省教育厅自然科学基金（黔教合 KY 字[2016]131 号、黔教合 KY 字[2017]002）；农业农村部杂粮加工重点实验室基金（ZL201705）；贵州师范大学资助博士科研项目[Supported by the Natural Science Foundation of China(31660366, 31760419); Natural Science Foundation of Department of Science and Technology in Guizhou Province(QKH ZC[2019]2298, QKH LH[2017] 7359, QKH LH[2016]7205, QKH JC[2016]1107, Platform Talent Foundation of Guizhou Province [2017]5726; Natural Science Foundation of Department of Education in Guizhou Province (QJH KY[2016]131, QJH KY[2017]002); Key Laboratory of Coarse Cereals Processing Foundation of Ministry of Agriculture and Rural Affairs(ZL201705); Doctoral Research Foundation of Guizhou Normal University].

作者简介：梁成刚(1985-)，男，重庆人，博士，副教授，作物栽培生理与分子调控机制，(Email)jesselcg@163.com。
***通信作者：**汪燕，博士，副教授，作物种质资源与遗传育种，(Email)yanwanguf@163.com。

Abstract: The Guiduoku 75 bred by distant hybridization was selected to investigate the major agronomic traits, yield traits and quality traits in ratooning plants under the 40 cm(I), 20 cm(II) and 10 cm(III) of stubble height treatment. The results indicated that the plant height, shoot weight, grain number per plant, yield per plant and yield in ratooning plants were significantly altered by stubble height when stubble height was less than 40 cm. The value of plant height, shoot weight, grain number per plant, yield per plant and yield in ratooning plants under treatment I were significant or extremely significant higher than those of treatment II and III, suggesting that higher stubble height is beneficial for the vegetative growth and yield formation in ratooning plants. The Guiduoku 75 seeds contained 4 protein components as albumin content > gluten content > prolamine content > globulin content. The total protein content and gluten content were significantly altered by stubble height, but the albumin content, prolamine content, globulin content were not when stubble height was less than 40 cm. The total flavonoid content in ratooning plants of Guiduoku 75 were ranged from 3.17% to 3.33%, that was little affected by stubble height. The ratooning plants of Guiduoku 75 under 40cm of stubble height treatment harvested 1.5 t/hm^2 seeds that contained 4.06% of albumin content, 3.26% of gluten content, 1.27% of prolamine content, 0.39% of globulin content and 3.33% of total flavonoid content, exhibiting high nutritional value and medicinal value.

Key words: buckwheat，distant hybridization，ratooning character，yield traits，quality traits

中国是荞麦的起源中心，特别是西南地区荞麦属野生种质资源尤为丰富（Ohnishi & Matsuoka, 1996；Ohnishi, 1998；Ohsako & Ohnishi, 2002；陈庆富，2001；陈庆富，2012）。目前已报道的荞麦种达到 30 个、变种 4 个和亚种 2 个（陈庆富, 2012；Hou et al., 2015；Wang et al., 2017）。荞麦属中普通荞麦（甜荞）和鞑靼荞麦（苦荞）是我国的主要杂粮作物。随着人们生活水平的不断提高，“三高”人群数量急剧增加，荞麦种子蛋白与黄酮类物质的营养价值和降“三高”保健功效越来越受到关注（Sedej et al., 2012; Ahmed et al., 2014；Giménez-Bastida et al., 2015）。当前许多发达国家，如日本、韩国等都成为了荞麦的主要消费和进口国。

荞麦属中甜荞与苦荞为一年生草本植物，我国北方地区以种植甜荞为主，南方地区则以种植苦荞为主。苦荞种子黄酮类物质含量丰富，保健功效优于甜荞。由于苦荞花朵较小，且为自花授粉植物，导致杂交育种工作进展较慢，苦荞育种以常规育种与辐射诱变育种等为主（马名川等，2015；陈庆富，2018）。吴云江和陈庆富（2001）对二倍体苦荞进行染色体加倍，获得了一批四倍体苦荞种质。廉立坤和陈庆富（2013）研究发现四倍体苦荞的种子总黄酮平均含量高达 3.64%，极显著高于二倍体苦荞的种子总黄酮平均含量 2.77%。但由于四倍体苦荞遗传稳定性较差，难以育成高产品种，生产上也尚未进行大面积推广。

多年生作物在保持土壤水分、肥力，改善农业生态环境等方面具有明显优势（Shim，2012；田超等，2013；Ryan et al., 2018)。不仅如此，多年生作物在减少劳动投入，降低种植成本方面也具有巨大潜力（田超等，2013）。荞麦属中金荞麦为多年生草本植物，其根茎是我国的传统中药材。野生金荞麦多为四倍体，广泛分布于云南、贵州、四川与西藏等地（梁成刚等，2018）。研究认为金荞麦与栽培苦荞的亲缘关系较近，金荞麦可能是栽培苦荞的祖先种（张以忠和陈庆富，2010；张以忠和陈庆富，2011；汪燕等，2018）。陈庆富研究团队利用野生金荞麦与四倍体苦荞进行远缘杂交，成功创制了远缘杂交种，经过多世代的连续选育，现已经获得遗传稳定的株系（陈庆富，2018）。荞麦远缘杂交种较常规苦荞表现出更明显的抗寒、抗旱特性，生长适应性更强，且植株表现出异于常规苦荞的再生特性，可作为多年生作物利用。不仅如此，荞麦远缘杂交种的种子总黄酮含量明显高于常规苦荞，最高可达

4.13%，保健功效更好（陈庆富，2018；杨丽娟等，2018）。留桩高度与再生作物产量密切相关（易镇邪等，2009；田超等，2013），但目前尚未见关于留桩高度与再生荞麦生长的相关报道，因此，本研究利用荞麦远缘杂交获得的杂交品系贵多苦 75 为材料，研究不同留桩高度对再生植株的主要农艺性状、产量性状和品质性状的影响，为荞麦的远缘杂交育种与高产栽培技术研究与推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选用金荞麦与四倍体苦荞远缘杂交育种育成品系贵多苦 75 为材料，于 2016 年在贵州省荞麦工程技术研究中心试验基地进行。试验采用随机区组设计种植密度为每公顷 60 万株。春季肥料施用量为每公顷 60 kg N，60 kg P_2O_5、30 kg K_2O；夏季收割后追施肥料用量为每公顷 30 kg N，30 kg P_2O_5、15 kg K_2O。试验于 3 月 26 日播种，8 月 7 日第一次收获，收获时进行留桩处理，三个水平，留桩 40 cm（处理 I）、留桩 20 cm（处理 II）、留桩 10 cm（处理 III），每小区面积为 20 m^2（2 m×10 m），3 次重复。

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集与测定

11 月 19 日，荞麦达到 70%成熟时，每小区选取植株均匀生长的 1 m^2 区域进行测产，并选取生长一致的植株 12 株调查主要农艺性状；随后将籽粒与茎叶分装，并于 60 °C 下烘干至恒重，测定产量性状；然后将籽粒去壳粉碎，过 100 目筛，测定品质性状。

1.2.2 蛋白质组分含量测定

称取待测样品 0.100 0 g，置于 2 mL 离心管中，加入 1.5 mL 蒸馏水进行清蛋白提取，震荡 2 min，于 4 000 $r \cdot min^{-1}$ 下离心 2 min，将上清液转移至 20 mL 离心管，再向沉淀中加入 1.5 mL 蒸馏水重复提取 3 次；随后向沉淀中加入 10%氯化钠溶液进行球蛋白提取，提取步骤与次数与清蛋白一致；随后向沉淀中加入 55%正丙醇进行醇溶蛋白提取，提取步骤与次数与清蛋白一致；最后向沉淀中加入谷蛋白提取液（含 1.68% KOH 溶液、0.24% $CuSO_4$ $5H_2O$、0.5%酒石酸钾钠和 50%异丙醇）进行谷蛋白提取。蛋白质组分的测定参考汪燕等（2017）方法进行。

1.2.3 总黄酮含量测定

称取待测样品 0.100 0 g，置于 15 mL 离心管中，加入 10 mL 80%乙醇进行总黄酮提取，70 °C 下间断震荡浸提 4 h，然后超声提取 10 min，静置后收集上清液。总黄酮含量的测定参考汪燕等（2018）方法。

1.3 数据分析与处理

数据使用 SPSS18.0 进行统计分析，差异显著性分析使用 One-way ANOVA test 法进行。

2 结果与分析

2.1 再生植株的农艺与产量性状

2.1.1 留桩高度对再生植株农艺性状的影响

对贵多苦 75 进行不同留桩高度处理，结果发现不同处理下 98%以上植株均能形成再生枝条。再生枝条于茎节与基部伸出，能正常生长发育至种子成熟。成熟期对植株进行主要农艺性状测定，结果发现留桩高度对组间株高和茎叶重影响极显著（表 1）。处理 I 植株的株高、茎叶重显著或极显著高于处理 II；处理 II 的株高、茎叶重显著或极显著高于处理 III；说明留 40 cm 高桩有利于新枝条的形成与再生植株的营养器官生长。

表 1 不同处理下再生植株的主要农艺性状与产量性状

Table 1 Major agronomic traits and yield traits of ratooning plants under different treatment

处理	株高	茎叶重	单株粒数	千粒重	单株产量	产量

Treatment	Plant height（cm）	Shoot weight（g）	Grain number per plant（grain）	1 000-grain weight（g）	Yield per plant（g）	Yield (t•hm^{-2})
I	138.9±10.1Aa	17.1±0.26Aa	144.8±9.0Aa	32.4±0.6Aa	4.7±0.2Aa	1.5±0.1Aa
II	115.4±9.0ABb	10.2±0.57Bb	69.2±14.1Bb	33.3±0.7Aa	2.3±0.5Bb	1.1±0.1Bb
III	97.3±4.9Bc	8.4±0.49Cc	57.7±17.6Bb	33.5±0.5Aa	1.9±0.6Bb	0.9±0.1Bc
组间 Interclass variance	**	***	**	ns	**	***

注：不同大写与小写字母分别表示处理间差异达到1%和5%水平，**与***分别表示组间差异达到1%和0.1%差异水平，ns 表示未达到显著水平。下同。

Note: Different capital letter and small letter represent the difference among treatments at 1% and 5% level, respectively. The symbol "**" and "***" represent the difference of interclass variance at 1% and 0.1% level, respectively; ns represents no significant difference of interclass variance. The same below.

2.1.2 留桩高度对再生植株产量性状的影响

成熟期对植株进行主要产量性状测定，结果发现留桩高度对组间单株粒数、单株产量和产量影响极显著。由表 1 可知，处理 I 的单株粒数与单株产量均极显著高于处理 II 和处理 III，处理 II 单株粒数与单株产量均高于处理 III，但未达到显著差异水平；处理 I 的产量极显著高于处理 II 和处理 III，处理 II 产量显著高于处理 III，说明留 40 cm 高桩有利于再生植株产量的形成。不过，留桩高度对千粒重影响不明显，不同处理间差异未达到显著水平。

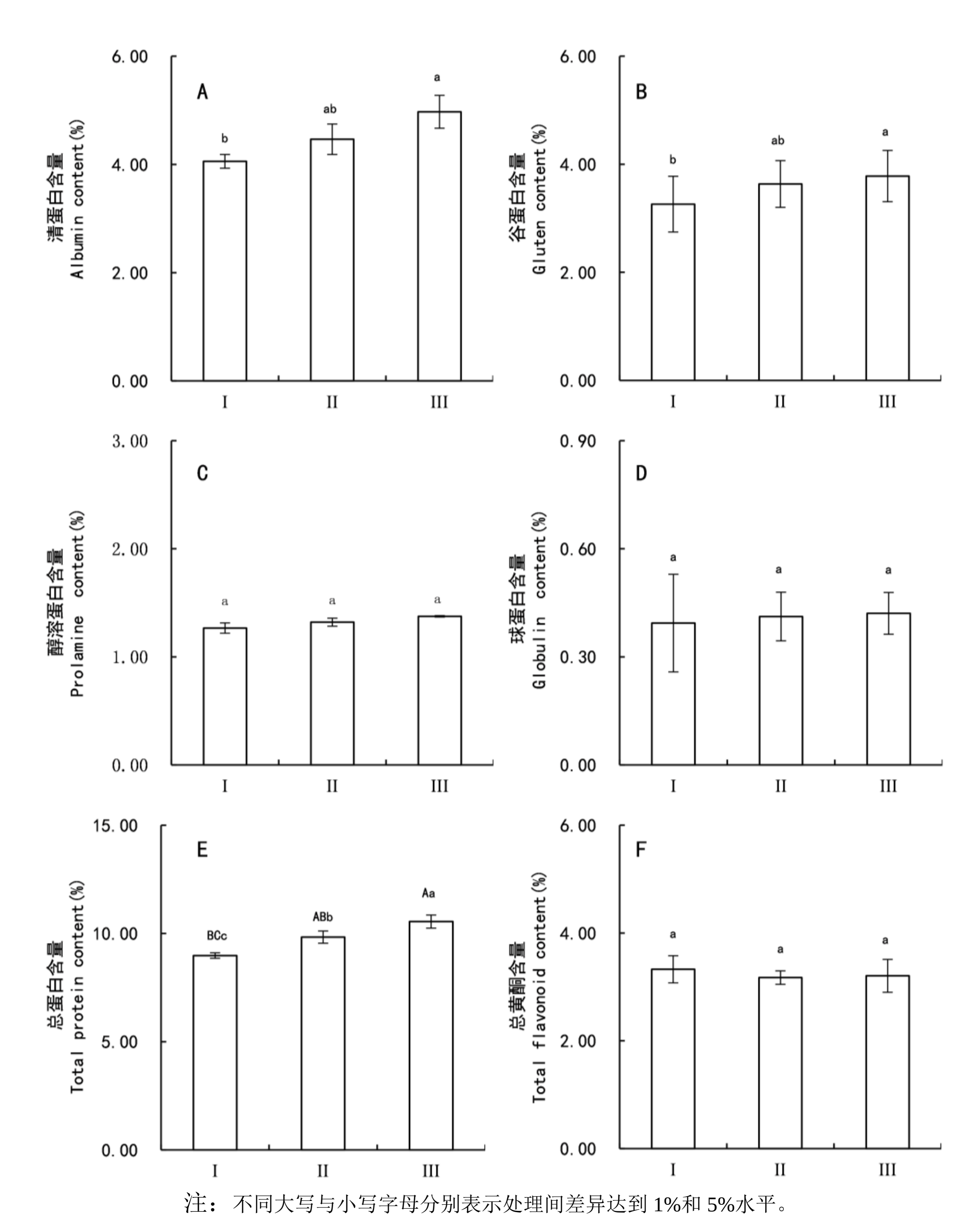
2.2 再生植株的品质性状

2.2.1 留桩高度对再生植株种子蛋白质组分含量的影响

对再生植株成熟种子进行蛋白质组分含量测定，结果发现留桩高度对贵多苦 75 谷蛋白含量影响显著，对清蛋白、醇溶蛋白和球蛋白含量影响不显著。由图 1 可知，贵多苦 75 的种子蛋白以清蛋白（图 1：A）和谷蛋白（图 1：B）含量最高，醇溶蛋白（图 1：C）较低，球蛋白（图 1：D）含量最低。处理间清蛋白与谷蛋白含量变异较明显，随着留桩高度的增加，含量逐渐降低。其中处理 III 中清蛋白和谷蛋白含量显著高于处理 I。而不同处理间醇溶蛋白与球蛋白含量均未达到显著差异水平。不过，留桩高度对总蛋白含量影响极显著，随着留桩高度的增加，总蛋白含量下降明显，处理 II 种子中总蛋白含量显著高于处理 I，处理 III 种子中总蛋白含量显著高于处理 II，极显著高于处理 I（图 1：E）。

2.2.2 留桩高度对再生植株种子总黄酮含量的影响

对再生植株成熟种子进行总黄酮含量测定，结果发现，不同处理下贵多苦 75 种子总黄酮含量在 3.17%~3.33%间，留桩高度对总黄酮含量影响不显著。不同处理间种子总黄酮含量差异也均不显著（图 1：F）。



注：不同大写与小写字母分别表示处理间差异达到 1%和 5%水平。

Note: Different capital letter and small letter represent the difference among treatments at 1% and 5% level, respectively.

图 1 不同处理下再生植株种子的蛋白质组分与总黄酮含量

Fig. 1 Protein component content and flavonoid content in seeds of ratooning plants under different treatment

2.3 留桩高度与再生植株性状间的相关性分析

对不同处理下再生植株进行留桩高度与农艺性状和产量性状相关性分析，结果发现，留桩高度与株高（0.992**）、茎叶重（0.985**）、单株粒数（0.937**）、单株产量（0.934**）和产量（0.963**）呈极显著正相关；与千粒重（-0.688*）呈显著负相关（表 2）。再生植株农艺性状和产量性状中株高（0.955**）、茎叶重（0.953**）、单株粒数（0.965**）、单株产量（0.962**）与产量呈极显著正相关，仅千粒重与产量相关性未达到显著水平。

表 2 留桩高度与再生植株的主要农艺性状的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between stubble height and major agronomic traits and yeild traits in ratooning plants

相关性 Correlation coefficient	株高 Plant height	茎叶重 Shoot weight	单株粒数 Grain weight per plant	单株产量 Yield per plant	千粒重 1 000-grain weight	产量 Yield
留桩高度 Stubble height	0.992**	0.985**	0.937**	0.934**	-0.688*	0.963**
株高 Plant height		0.897**	0.904**	0.899**	-0.648	0.955**
茎叶重 Shoot weight			0.954**	0.951**	-0.691*	0.953**
单株粒数 Grain weight per plant				0.999**	-0.633	0.965**
单株产量 Yield per plant					-0.603	0.962**
千粒重 1 000-grain weight						-0.663

对不同处理下再生植株进行留桩高度与品质性状相关性分析，结果发现，留桩高度与种子清蛋白（-0.847**）、谷蛋白（-0.696**）、总蛋白（-0.943**）呈极显著负相关；与醇溶蛋白、球蛋白和总黄酮含量相关性未达到显著水平（表 3）。再生植株种子品质性状间清蛋白（0.892**）、谷蛋白（0.701*）和醇溶蛋白（0.721*）与总蛋白呈显著或极显著正相关，球蛋白与总蛋白间相关性未达到显著水平。种子蛋白质各组分与总黄酮间相关性也未达到显著水平。

表 3 留桩高度与再生植株的主要品质性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between stubble height and major quality traits in ratooning plants

	清蛋白 Globulin	谷蛋白 Glutelin	醇溶蛋白 Prolamin	球蛋白 Albumin	总蛋白 Total protein	总黄酮 Total flavonoid
留桩高度 Stubble height	-0.847**	-0.696**	-0.614	-0.247	-0.943**	0.157
清蛋白 Globulin		0.459	0.523	0.572	0.892**	0.254
谷蛋白 Glutelin			0.596	-0.019	0.701*	-0.431
醇溶蛋白 Prolamin				0.329	0.721*	-0.352
球蛋白 Albumin					0.429	0.589
总蛋白 Total protein						-0.088

3 结论与讨论

3.1 留桩高度对农艺性状与产量性状的影响

近来年，多年生作物育种越来越受到关注，关于多年生水稻、多年生小麦等粮食作物的研究报道也日益增多（赵正武等，2006；郭效琼等，2016；赵海滨等，2012）。陈金铨等（1996）对多年生水稻进行研究发现，留高桩能增加活桩率，促进分蘖发生，其再生分蘖多由地下基部节萌发，倒二节位为再生优势芽位。陈庆富（2018）首次对多年生苦荞进行了报道，指出多年生苦荞较常规栽培苦荞生长适应性好和抗逆性强，可实现一次栽培多季收获。本研究发现，贵多苦 75 春播收割后 98%以上植株均能形成再生枝条，留桩高度为 40 cm 的植株株高、茎叶重显著或极显著高于留桩高度为 20 cm 和 10 cm 的植株，说明留 40 cm 高桩有利于新枝条的形成与再生植株营养器官的生长。不过，与水稻不一样的是贵多苦 75 的地上部与基部节间均有再生枝条抽出，且上部抽出枝条生长较低位枝条旺盛。虽然留桩高度对株高、茎叶重有极显著影响，且呈极显著正相关关系，但生产上并不建议进一步增加留桩高度，因为留桩高度高于 40 cm 后一方面植株茎节间长度较低位节间明显增加，并不能通过提高留桩高度明显增加再生枝条抽出；另一方面则会影响当季植株低位分枝的种子收获与脱粒而导致减产。

陈庆富（2018）指出多年生苦荞在主产区当季产量可达每公顷 2.2 t 以上。本研究发现留桩高度为 40 cm 的植株单株粒数达到 144.8 粒、单株产量达到 4.7 g、产量达到每公顷 1.5 t，这与常规苦荞品种当季产量相当（汪燕等，2017）。易镇邪等（2009）研究发现，再生稻的源库流关系与留桩高度和品种特性密切相关。本研究发现，留桩高度对单株粒数、单株产量和产量有极显著影响，再生植株农艺性状中株高、茎叶重与产量呈极显著正相关；产量性状中单株粒数、单株产量与产量呈极显著正相关，留桩高度 40 cm 的产量极显著高于留桩高度为 20 cm 和 10 cm 的植株。说明留 40 cm 高桩能促进再生植株的营养器官生长，进而有利于产量的形成。

3.2 留桩高度对品质性状的影响

苦荞的蛋白质含量丰富，氨基酸成分均衡，营养价值高。汪燕等（2017）对 20 个常规苦荞品种蛋白质组分含量研究发现，常规苦荞蛋白质组分以清蛋白(1.72%~4.47%)和谷蛋白(3.00%~4.03%)含量较高，醇溶蛋白(0.86%~1.38%)含量较低，球蛋白(0.20%~0.42%)含量最低。本研究发现，贵多苦 75 种子蛋白质组分中清蛋白含量在 4.06%~4.97%间、谷蛋白含量在 3.26%~3.78%间，醇溶蛋白含量在 1.27%~1.38%间，球蛋白含量在 0.39%~0.42%间，蛋白质组分比例与常规苦荞和甜荞较为一致（张启迪等，2017；汪燕等，2017）。随着留桩高度的增加，种子总蛋白、清蛋白、谷蛋白、醇溶蛋白和球蛋白含量均逐渐降低。留桩高度对种子总蛋白和谷蛋白影响显著，但对清蛋白、醇溶蛋白和球蛋白含量影响不显著。相关性分析结果发现，留桩高度与种子清蛋白、谷蛋白、总蛋白呈极显著负相关。推测这可能与留高桩再生植株生物量和产量提高，氮肥供应量相对不足有关。

荞麦富含黄酮类物质，被作为芦丁提取的主要作物（Couch et al., 1946）。刘三才等（2007）研究发现，76 份常规苦荞资源种子总黄酮含量在 1.97%~3.03%间，平均为 2.46%。杨丽娟（2018）对 3 份多年生苦荞材料进行研究，发现其中贵多苦 03 和贵多苦 60 当季种子总黄酮含量分别达到 4.03%和 4.13%。钟林等（2018）研究指出多年生苦荞药用价值较高，值得推广利用。本研究发现，贵多苦 75 再生植株种子总黄酮含量在 3.17%~3.33%间，明显高于常规苦荞（汪燕等，2017）。留桩高度对种子总黄酮含量影响不显著，无明显相关性，且不同处理间种子总黄酮含量差异也均不显著。说明再生植株种子总黄酮含量稳定，具有较高的药用价值。

参考文献：

AHMED A, KHALID N, AHMAD A, et al., 2014. Phytochemicals and biofunctional properties of

buckwheat: A review[J]. J Agric Sci, 152(3): 349-369.

CHEN JQ, LIU ZB, LI YZ, et al., 1996. Research of the piling height on perennial *Japonica* rice[L]. Fujian Sci Technol Rice Wheat, 14(4): 22-24. [陈金铨，刘志兵，李义珍，等，1996．多年生粳稻留桩高度研究[J]．福建稻麦科技，14(4)：22-24.]

CHEN QF, 2001. Karyotype analysis of five *Fagopyrum* species native to China[J]. Guihaia, 21(2): 107-110. [陈庆富，2001．五个中国荞麦种的核型分析[J]．广西植物，21(2)：107-110.]

CHEN QF, 2012. Plant science on genus *Fagopyrum*[M]. Beijing: Science Press, 1-10. [陈庆富，2012．荞麦属植物科学[M]．北京：科学出版社，1-10.]

CHEN QF, 2018. The status of buckwheat production and recent progresses of breeding on new type of cultivated buckwheat[J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci Ed), 139(3):2+5-11. [陈庆富，2018．荞麦生产状况及新类型栽培荞麦育种研究的最新进展[J]．贵州师范大学学报(自然科学版)，139(3)：2+5-11.]

COUCH JF, NAGHSKI J, KREWSON CF, 1946. Buckwheat as a source of rutin[J]. Science, 103(2668): 197-198.

GIMÉNEZ-BASTIDA JA. PISKULA MK, ZIELIÑSKI H, 2015. Recent advances in processing and development of buckwheat derived bakery and non-bakery products-a review[J]. Pol J Food Nutr Sci, 65(1): 9-20.

GUO XQ, LUO F, XIONG HB, et al., 2016. Classification of *Indica-Japonica* and optimization of embryonic callus inducing medium in a perennial rice(*Oryza sativa* L.)[J]. J Yunnan Agric Univ (Nat Sci Ed), 31(6): 10-17. [郭效琼，罗樊，熊海波，等，2016．多年生水稻籼、粳分类及其胚性愈伤诱导培养基优化[J]．云南农业大学学报(自然科学版)，31(6)：10-17.]

HOU LL, ZHOU ML, ZHANG Q, et al., 2015. *Fagopyrum luojishanense*, a new species of Polygonaceae from Sichuan, China[J]. Novon, 24(1): 22-26.

SHIM J, 2012. Perennial rice: improving rice productivity for a sustainable upland ecosystem[J]. Sabrao J Breed Genet, 44(2): 191-201.

LIANG CG, YU WJ, WANG Y, et al., 2018. Study of pollution-free cultivation techniques of *Fagopyrum cymosum*[J]. Mod Chinese Med, 20(12): 1526-1532. [梁成刚，喻武鹃，汪燕，等，2018．无公害药用金荞麦种植技术探讨[J]．中国现代中药，20(12)：1526-1532.]

LIAO LK, CHEN QF, 2013. A comparative study of seed protein content and seed flavonoid content between diploid and tetraploid tartary buckwheat[J]. Seed, 32(2):1-5. [廉立坤，陈庆富，2013．二倍体和四倍体苦荞种子蛋白质含量和黄酮含量比较研究[J]．种子，32(2)：1-5.]

LIU SC, LI WX, LIU F, et al., 2007. Identificaiton and evaluation of total flavones and protein content in tartary buckwheat germplasm[J]. J Plant Genet Resour, 8(3):317-320.[刘三才，李为喜，刘方，等，2007．苦荞麦种质资源总黄酮和蛋白质含量的测定与评价[J]．植物遗传资源学报，8(3)：317-320.]

MA MC, LOU LL, ZHANG LJ, et al., 2015. Research progress of buckwheat breeding[J]. J of Shanxi Agric Sci, 43 (2): 240-243. [马名川，刘龙龙，张丽君，等．2015．荞麦育种研究进展[J]．山西农业科学，43(2)：240-243.]

OHNISHI O, 1998. Search for the wild ancestor of buckwheat III. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of tatary buckwheat[J]. Econ Bot, 52(2): 123-133.

OHNISHI O, MATSUOKA Y, 1996. Search for the wild ancestor of buckwheat II. taxonomy of *Fagopyrum* (Polygonaceae) species based on morphology, isozymes and cpDNA variability[J]. Genes and Genet Syst, 71(6): 383-390.

OHSAKO T, YAMANE K, OHNISHI O, 2002. Two new *Fagopyrum* (Polygonaceae) species, *F. gracilipedoides* and *F. jinshaense* from Yunnan, China[J]. Genes and Genet Syst, 77(6): 399-408.

RYAN MR, CREWS TE, CULMAN SW, et al., 2018. Managing for multifunctionality in perennial grain crops[J]. Bioscience, 68(4): 294-304.

SEDEJ I, SAKAČ M, MANDIĆ A, et al., 2012. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grain and fractions: Antioxidant compounds and activities[J]. J Food Sci, 77(9): 954-959.

TIAN C, JIN G, LI JL, et al., 2013. Research progress of perennial crops[J]. Chin Agric Sci Bull, 29(18): 16-20. [田超，靳嵩，李集临，等，2013．多年生作物的研究进展[J]．中国农学通报，29(18)：16-20.]

WANG CL, LI ZQ, DING MQ, et al., 2017. *Fagopyrum longzhoushanense*, a new species of Polygonaceae from Sichuan, China[J]. Phytotaxa, 291(1): 73-80.

WANG Y, LIANG CG, SUN YH, et al., 2017. The yield and quality of tartary buckwheat varieties and the response to low nitrogen[J]. J Guizhou Normal Univ (Nat Sci Ed), 35(6):66-73.[汪燕，梁成刚，孙艳红，等，2017．不同苦荞品种的产量与品质及其对低氮的响应[J]．贵州师范大学学报(自然科学版)，35(6)：66-73.]

WANG Y, LIAO K, YU WJ, et al., 2018. Identification of low-phosphorus tolerance and analysis of yield and quality in tartary buckwheat[J]. Jiangsu J Agric Sci, 34(3): 503-510. [汪燕，廖凯，喻武鹃，等，2018．苦荞耐低磷力鉴定及其产量和品质分析[J]．江苏农业学报，34(3)：503-510.]

WANG Y, YU WJ, LIAO K, et al., 2018. Analysis of *RLKs* gene sequence and phylogenetic relationship in genus *Fagopyrum*[J]. J Guizhou Normal Univ (Nat Sci Ed), 36(4): 30-35. [汪燕，喻武鹃，廖凯，等，2018．荞麦属植物 *RLKs* 基因序列分析与亲缘关系研究[J]．贵州师范大学学报(自然科学版)，36(4)：30-35.]

WU YJ, CHEN QF, 2001. A cytological study on meiosis of PMCs of diploid and tetraploid tartary buckwheat[J]. Guihaia, 21(4):344-346. [吴云江，陈庆富，2001．二倍体和四倍体栽培苦荞的细胞学比较研究[J]．广西植物，21(4)：344-346.]

YI ZX, ZHOU WX, TU NM, 2009. Effects of stubble height of the main crop on source-sink characteristics and assimilates transportation in ratooning rice[J]. Chin J Rice Sci, 23(5): 509-516. [易镇邪，周文新，屠乃美，2009．留桩高度对再生稻源库性状与物质运转的影响[J]．中国水稻科学，23(5)：509-516.]

ZHANG QD, DENG J, LIANG CG, et al., 2017. Analysis of protein components in different cultivars of common buckwheat planted in different altitude areas[J]. Guihaia, 37(4): 524-532. [张启迪，邓娇，梁成刚，等，2017．甜荞不同品种不同海拔地区种子蛋白组分含量研究[J]．广西植物，37(4)：524-532.]

ZHANG YZ, CHEN QF, 2010. Amylase and formate dehydrogenase isozymes in the genus *Fagopyrum*. [J]. Guihaia, 30(3): 395-402. [张以忠，陈庆富．荞麦属植物淀粉酶和甲酸脱氢酶同功酶研究[J]．广西植物, 2010, 30(3): 395-402.]

ZHANG YZ, CHEN QF, 2011. Esterase isozyme on sprouting seeds of genus *Fagopyrum*[J]. Guihaia, 31(2): 233-238.[张以忠，陈庆富，2011．荞麦属种质资源发芽种子酯酶同工酶研究[J]．广西植物，31(2)：233-238.]

ZHAO HB, ZHANG YM, SHI CL, et al., 2012. Development and cytogenetic analysis of perennial wheat in cold region[J]. Acta Agron Sin, 38(8): 1378-1386. [赵海滨，张延明，史春龙，等，2012．寒地多年生小麦的选育与细胞遗传学分析[J]．作物学报，38(8)：

1378-1386.]
ZHAO ZW, LI SG, LEI SF, 2006. Genetic variation of main agronomic traits in a new germplasm resource of perennial rice[J]. Chin J Rice Sci, 20(5):481-486. [赵正武，李仕贵，雷树凡，2006．一份特异多年生水稻种质主要农艺性状的遗传变异[J]．中国水稻科学，20(5)：481-486.]
ZHONG L, XIONG FQ, LUO XL, et al., 2018. Comparative test of perennial Tartary buckwheat[J]. Agric Technol Newslett, 1: 63-65.[钟林，熊仿秋，罗晓玲，等，2018．多年生苦荞品系对比试验[J]．农业科技通讯，1：63-65.]